

# EL ENIGMA DE LA DESAPARICIÓN DE LA ANTIMATERIA EN EL UNIVERSO ¿UNA POSIBLE EXPLICACIÓN?

## Resumen

Las teorías que se han elaborado hasta hoy para explicar la ausencia de antimateria en el Universo no son totalmente satisfactorias. La explicación que aquí sugerimos es compatible con la total simetría materia-antimateria, es decir, las propiedades de la materia podrían ser iguales que las de la antimateria. Proponemos la hipótesis de que en los primeros instantes del Universo, a muy alta temperatura, habría tenido lugar una *fluctuación primordial PF*, durante la cual se habrían producido interacciones por las que las partículas de materia se transformarían en antipartículas de manera aleatoria, con idéntica probabilidad en ambos sentidos. La *PF* habría cesado cuando la temperatura habría descendido hasta un valor umbral, la *temperatura crítica primordial  $T_p$* , a partir de cuyo instante quedó “congelado” el exceso de materia sobre la antimateria que “casualmente” existía en el Universo. Y así ha quedado hasta hoy.

## 1. Introducción. El enigma de la desaparición de la antimateria en el Universo actual

Se constata actualmente que el Universo está formado casi exclusivamente por “materia”. Sin embargo, parece lógico que hubiera tanta materia como antimateria. Expongamos el problema.

Parece verosímil, y así está generalmente admitido, que en los primeros instantes del Universo habría habido sólo energía de radiación, es decir, fotones y demás bosones de todas clases, a muy alta temperatura. En este escenario se fue originando toda la materia por procesos de producción de pares. Pero en estos procesos se originan siempre una partícula y su correspondiente antipartícula y, por tanto, se tuvieron que generar tantas partículas como antipartículas. Se producirían pares tales como quark-antiquark y leptón-antileptón.

Por tanto, en las primeras etapas del Universo debía haber tanta materia como antimateria. Y entonces ¿Qué ha ocurrido con la antimateria? ¿Cuál ha sido el proceso por el cual se ha llegado al predominio actual casi total de la materia sobre la antimateria? Este es el enigma que hoy se trata de desvelar.

## 2. El cumplimiento de las leyes físicas

Partimos de la hipótesis de que siempre se han cumplido las leyes físicas conocidas. Son las siguientes:

- 2.1 Conservación de la *carga eléctrica* (la carga total del Universo se supone nula desde el principio). Se conserva en todas las interacciones.
- 2.2 Conservación de la *energía-masa* (su valor total en el Universo se habría mantenido constante desde su origen).
- 2.3 Conservación del *momento* (cantidad de movimiento). Se conserva en todas las interacciones.
- 2.4 Conservación del *momento angular*. En todas las interacciones se conserva, igualmente.
- 2.5 Cumplimiento del *CPT* en todos los procesos.
- 2.6 Tendencia general al aumento de *entropía*.

En cambio, serían posibles los procesos que incumpliesen la conservación del *número bariónico*  $B$  y del *número leptónico*  $L$ , así como el  $C$  y el  $CP$ . No hay razón consistente para que estas magnitudes hayan de conservarse.

### 3. Explicaciones que se han dado, ninguna del todo satisfactoria

- 3.1 Que, una vez producidos los pares de partículas y antipartículas, hubo algún mecanismo por el que se separaron, predominando en una región del Universo las partículas y en otra zona las antipartículas. Podría así haber galaxias de antimateria; en ellas las supernovas lanzarían al espacio grandes cantidades de antiprotones que, al incidir sobre las galaxias de materia, se aniquilarían con los protones dando fotones de una frecuencia muy precisa. Pero tales fotones nunca se han encontrado <sup>(1)</sup>.
- 3.2 En el año 1966 Andrei Sakharov propuso una explicación que implica la violación del número bariónico, y de las simetrías  $C$  y  $CP$  en los procesos que se habrían producido en los primeros instantes del Universo, en situación de no equilibrio, a muy alta temperatura <sup>(2)</sup>. A la temperatura de Universo actual, los números bariónico y leptónico se conservan en todos los procesos observados con pequeño margen de error.
- 3.3 La violación del  $C$  ha sido observada desde hace medio siglo, como es bien sabido. La violación del  $CP$  fue observada en 1963 por J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch y R. Turlay <sup>(3)</sup>. Se han observado indicios de asimetría en la desintegración de los kaones neutros, que ha sido muy estudiada por algunos investigadores. Se ha propuesto el mecanismo que describe la violación  $CP$  en el Modelo Standard mediante la matriz Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) <sup>(4)</sup><sup>(5)</sup>.
- 3.4 M. B. Gavela et al. <sup>(6)</sup> sugieren que en los primeros instantes del Universo se produjo una transición de fase de primer orden

$SU(2) \cdot U(1)$  en el plasma a muy alta temperatura, produciéndose violación del número bariónico y de C y CP <sup>(7)(8)(9)</sup>. Esto coincide en parte con la propuesta de Sakharov.

- 3.5 Se han elaborado muchas teorías de Gran Unificación, GUT<sub>s</sub>, algunas de las cuales tratan de explicar la preferencia de la materia sobre la antimateria. Podemos destacar la teoría elaborada en 1974 por S. Glasgow y H. Georgi <sup>(10)</sup>.
- 3.6 Otra idea sugerida es la existencia de una probabilidad algo diferente para la desintegración del bosón pesado  $X$  en dos quarks y del antibosón  $\bar{X}$  en dos antiquarks <sup>(11)</sup>. Se sugirió que se podrían producir interacciones que transformasen fotones en partículas de materia sin formar antimateria (por ejemplo, si un fotón originase un electrón y un protón, ambos materia), pero ello nunca se ha confirmado. Estos modelos implicarían la posibilidad de procesos inversos, tales como la desintegración del protón. Las teorías GUT de Glashow predicen la desintegración del protón con un periodo de  $10^{29}$  años, pero la detección experimental de tal desintegración, buscada por complejas experiencias en los años 1980, dio resultado negativo. Si se produce la desintegración del protón, el periodo ha de ser al menos de  $10^{33}$  años.
- 3.7 Entre los años 1985 y 2003 el físico Yoichiro Nambu (Premio Nobel 2008), ha elaborado en la Universidad de Chicago algunas teorías que, de confirmarse, podrían contribuir a encontrar explicaciones a los problemas de la antimateria <sup>(12)(13)</sup>.

## 4. La nueva explicación que aquí sugerimos

La explicación que, con todas las reservas, sugerimos aquí parte de un supuesto básico: a muy alta temperatura debe existir un mecanismo por el cual las partículas (materia) se pueden transformar en antipartículas (antimateria) y a la inversa. Quizá podría tratarse de una cadena de reacciones en las que intervendrían bosones pesados, para cuya formación se requiere muy alta temperatura. Por otra parte, la posibilidad de transformaciones mutuas materia-antimateria ha sido confirmada experimentalmente en experiencias recientes llevadas a cabo en el FERMILAB por la CDF Collaboration <sup>(14)</sup>. G. Gómez-Ceballos y otros describen una oscilación del mesón neutro  $B_s$  y el correspondiente antimesón  $\bar{B}_s$ ,  $s\bar{b} \Leftrightarrow \bar{s}b$ , con una frecuencia del orden de  $3 \cdot 10^{12}$  Hz.

Según la explicación que sugerimos, en los primeros instantes del Universo, cuando la temperatura era aún muy elevada, se habría producido una *fluctuación primordial PF*, en la que, de manera aleatoria, habría partículas de materia que se transformarían en antipartículas y, al mismo tiempo, habría antipartículas que pasarían a ser partículas, con idéntica probabilidad en ambos sentidos. Esta fluctuación habría proseguido mientras el Universo se iba enfriando, hasta que se llegaría a la temperatura crítica de cambio de fase  $T_f$  y se habría producido la “congelación”. A partir de este

instante, siendo ya  $T < T_f$ , habría quedado fijada definitivamente la diferencia entre el número de partículas y el número de antipartículas existentes en el Universo.

La temperatura crítica podría ser del orden de  $T_p \approx 10^{28}$  K, que corresponde a la masa supuesta de algunos bosones pesados de GUT,  $10^{15}$  GeV, en cuyo caso la edad del Universo contada a partir del Big-bang se podría considerar menor de  $10^{-35}$  segundos. Hay que advertir, sin embargo, que estos valores son hoy meramente especulativos y deberían deducirse mediante modelos teóricos.

Las reacciones que permitirían la transformación de materia en antimateria y viceversa podrían ser muy variadas. Ingenuamente, podríamos imaginar, por poner un ejemplo trivial, un proceso por el cual los tres quarks que forman un protón, junto con un electrón,  $u^{2/3} u^{2/3} d^{-1/3} e^{-1}$ , después de una serie de reacciones más o menos complejas, acabarían intercambiando sus cargas y quedaría  $u^{-2/3} u^{-2/3} d^{1/3} e^{+1}$ , es decir, un antiprotón y un positrón. Estas reacciones no ocurren a las temperaturas actuales, pero no es descartable que puedan producirse a altas temperaturas, suficientes para generar bosones muy pesados. La Física teórica y la Física experimental tienen un amplio campo de estudio. No entramos en ello. Queda el camino abierto a la investigación.

Consideremos la notación siguiente, para la totalidad del Universo, en un instante dado cualquiera:

$M$  = número total de partículas (materia)

$A$  = número total de antipartículas (antimateria)

$Z = M - A$  exceso de materia sobre antimateria

$N = M + A$  número total de partículas y antipartículas

Con esta notación, si fuese  $Z > 0$ , en el Universo predominaría la materia, y si, por el contrario, fuese  $Z < 0$ , la antimateria sería predominante. En caso de ser  $Z = 0$ , habría exactamente tanta materia como antimateria y podría producirse la total aniquilación.

Consideraremos además las mismas magnitudes dadas por unidad de volumen (densidad de partículas), en cualquier lugar del espacio, que representaremos con letras minúsculas.

## 4.1 El inicio del Universo

Suponemos que en el inicio del Universo no habría partículas formadas; sólo habría radiación, es decir, fotones (o bien, otros bosones):

$$M_0 = 0 \qquad A_0 = 0 \qquad N_0 = 0 \qquad (7)$$

## 4.2 Comienza la producción de pares (y la aniquilación)

A muy alta temperatura, comienzan a formarse pares materia-antimateria, en principio tantas partículas como antipartículas, con lo que los números  $M$  y  $A$  empiezan creciendo en la misma cantidad y, por tanto, el valor de  $Z$  se mantendría nulo.

### 4.3 Comienza la fluctuación primordial *PF*

Por el mecanismo que hemos supuesto (hoy todavía desconocido), poco después del comienzo de la formación de pares (o probablemente al mismo tiempo) comenzarían en todos los lugares del Universo las mutuas transformaciones entre materia y antimateria (partículas que se transformarían en antipartículas y viceversa, con idéntica probabilidad), es decir, se produciría la *fluctuación primordial PF*.

En un punto cualquiera del espacio, la fluctuación originaría que, en la unidad de volumen, un número de antipartículas *da* pasarían a ser partículas, y sería:

$$-da = dm \quad (8)$$

También se produciría el proceso inverso, aleatoriamente. Y evidentemente, la diferencia entre los números de partículas y antipartículas, en la unidad de volumen ( $z = m - a$ ) habría variado en:

$$dz = dm - da = 2dm \quad (9)$$

resultando que, en un instante dado, en el punto del espacio considerado, las respectivas densidades de partículas serían:

$$\begin{aligned} m & \text{ partículas /m}^3 \\ a & \text{ antipartículas /m}^3 \\ z & \text{ exceso de partículas sobre antipartículas /m}^3 \end{aligned}$$

En el Universo, en su totalidad (volumen  $V$ ), en el instante considerado, los números de partículas y antipartículas serían:

$$M = \iiint mdV \text{ partículas (materia)} \quad (10)$$

$$A = \iiint adV \text{ antipartículas (antimateria)} \quad (11)$$

$$Z = \iiint zdV = M - A \text{ exceso de materia sobre antimateria} \quad (12)$$

En la fluctuación ocurriría que, en cada punto, el valor de  $z$  tomaría diferentes valores en torno a cero, y, en consecuencia, en el Universo la magnitud total  $Z$  fluctuaría también en torno a cero.

En los instantes en que  $Z$  fuese positivo habría más partículas que antipartículas, y cuando fuese  $Z < 0$  predominarían las antipartículas. La fluctuación *PF* se habría producido durante un cierto tiempo, mientras la temperatura fuese superior al valor crítico  $T_f$  (es decir, mientras fuesen posibles los procesos aleatorios de intertransformación materia-antimateria).

Los valores más probables de  $Z$  se encontrarían en la región próxima a cero, con idéntica probabilidad de que el valor real, en un instante dado, fuese positivo o negativo.

## 4.4 Final de la fluctuación primordial

La fluctuación sólo sería posible mientras la temperatura fuese mayor que el valor crítico de cambio de fase ( $T > T_f$ ). Pero el Universo se iría enfriando hasta alcanzarse dicha  $T_f$  y en ese instante habría cesado la fluctuación. Habría ocurrido entonces el cambio de fase o “congelación”. A partir de ese instante, la temperatura sería inferior a la crítica:

$$T < T_f \quad (13)$$

y la diferencia entre el número de partículas y el de antipartículas habría quedado fijado definitivamente (hasta el día de hoy). Quedó, pues, un resultado:

$$Z_R = M - A = \text{constante} \quad (14)$$

El proceso de producción de pares y aniquilación no se interrumpió, pero *siempre manteniéndose constante la diferencia entre los números totales de  $M$  y  $A$* . En la producción de pares, por cada partícula producida se habría producido una antipartícula:

$$dM = dA > 0 \quad (15)$$

y lo mismo ocurriría en los procesos de aniquilación:

$$dM = dA < 0 \quad (16)$$

con lo que la diferencia se mantendría como resultado definitivo:

$$Z_R = \text{constante} \quad (17)$$

## 5. Probabilidad de los valores de $Z$

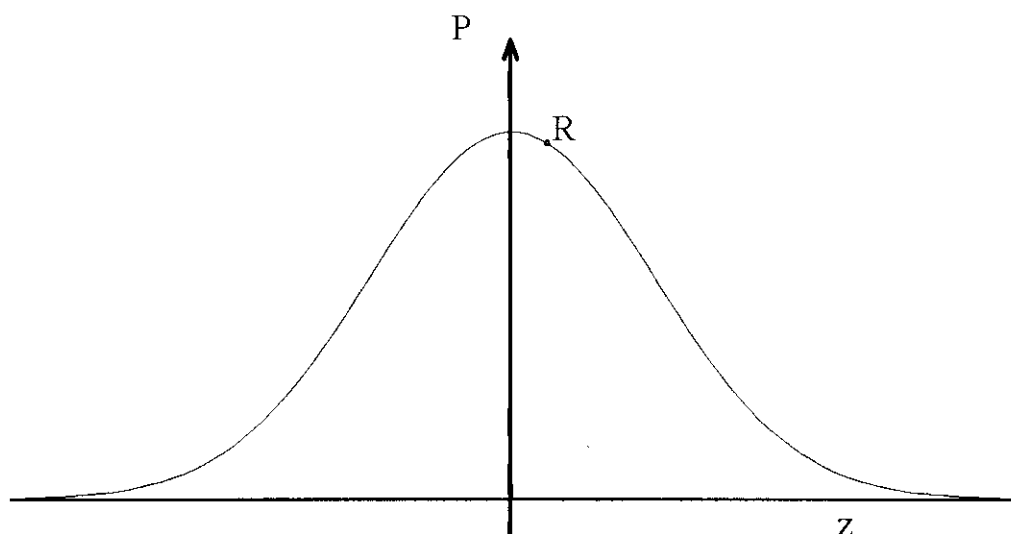
En el tratamiento estadístico interesaría calcular la probabilidad de encontrar, en un instante dado, un determinado valor de  $Z$ . El valor más probable, obviamente, es  $Z = 0$ , pero los valores diferentes de cero poseen evidentemente una probabilidad no nula. La mayor probabilidad corresponde a los valores próximos a cero; sin embargo sería ingenuo pensar que en el instante del cambio de fase, el valor de  $Z$  hubiera sido exactamente cero.

Por lo que hoy podemos ver, es obvio que la congelación sobrevino cuando  $Z$  tenía un valor distinto de cero (afortunadamente, pues de lo contrario no estaríamos aquí para pensarlo).

La probabilidad de los distintos valores que  $Z$  pudiera tener en un instante dado podría estar representada por una curva simétrica en torno al valor cero (considerando la total simetría entre materia y antimateria). Se podría suponer una distribución normal de Gauss, teniendo en cuenta que tanto  $M$  como  $A$  son números extraordinariamente grandes:

$$P(Z) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-(hZ)^2} \quad (18)$$

en donde el parámetro  $h$ , cuyo valor no se conoce, determina la esbeltez de la curva gaussiana, que debe depender de la probabilidad de las reacciones de intercambio materia-antimateria, en definitiva, del modelo teórico que se considere.



CURVA DE GAUSS

( $Z$  en abscisas,  $P$  en ordenadas) (origen  $Z = 0$  en el centro, antimateria a la izquierda, materia a la derecha, simétricamente).

En la gráfica que hemos supuesto vemos que la probabilidad  $P$  es máxima para  $Z = 0$ . Que la curva sea simétrica es coherente con la idea de que el Universo podría haber sido materia o antimateria con idéntica probabilidad.

Cualquier valor de  $Z$  tiene probabilidad no nula. El resultado  $Z_R > 0$  corresponde a un Universo en el que la materia es predominante (como así ha ocurrido realmente). Y para  $Z_R < 0$  predominaría la antimateria (en este caso el Universo sería hoy de antimateria).

Esta explicación no requiere que exista diferencia alguna entre las propiedades de la materia y de la antimateria.

Según estas ideas, es interesante destacar que existió probabilidad no nula de que la “congelación” se hubiese producido con cualquier valor de  $Z$ , positivo o negativo. Fue, según ello, igualmente probable que el Universo resultase formado por materia como por antimateria ¿Podemos imaginar un Universo formado por antimateria? Realmente, a todos los efectos, tendría el mismo aspecto y el mismo comportamiento que el Universo que conocemos. Un Universo de antimateria sería indistinguible de un Universo de materia.

El resultado real, tal como hoy podemos ver, parece haber sido un valor positivo de  $Z_R$  muy pequeño en comparación con el número total de partículas ( $N = M + A$ ) existentes al finalizar la  $PF$ :

$$Z_R \ll N \quad (19)$$

Una relación que podríamos suponer sería del orden siguiente:

$$\frac{N}{Z_R} \approx 10^9 \quad (20)$$

lo que indicaría que por cada mil millones de partículas existentes en el Universo al final de la *PF*, habría una diferencia de sólo una unidad entre las partículas de materia y las de antimateria (mejor considerar dos unidades, si admitimos la mutua transformación).

El resultado que hemos supuesto se puede ver en la gráfica: sería el punto *R*, que se encuentra muy próximo al máximo de la curva, en la parte derecha.

## 6. Posibles diferencias en cada región

### 6.1 Valores medios

Hemos considerado el valor final  $Z_R$  que quedó fijado para la totalidad del Universo, pero en cada punto (en cada región) pudo producirse la congelación para diferentes valores locales de  $z_R$ . Consideremos el valor medio para todos los lugares del Universo:

$$\bar{z}_R = \frac{\iiint z_R dV}{\iiint dV} = \frac{Z_R}{V} \quad (21)$$

en donde las integrales se extienden a todas las regiones del Universo (siendo  $V$  el volumen total). Y se puede escribir:

$$Z_R = \bar{z}_R V \quad (22)$$

(Conviene recordar que, según lo que actualmente se puede constatar, los valores reales que resultaron fueron positivos, tanto para  $Z_R$  como para  $\bar{z}_R$ ).

### 6.2 Resultados en las diferentes regiones

En las regiones en que resultase  $z > \bar{z}_R$  se tendría mayor densidad de partículas de materia, y en las regiones en que  $z < \bar{z}_R$  se originaría una densidad menor. Y podría haber regiones en que hubiese resultado  $z_R < 0$ . En ellas predominaría, en principio, la antimateria. ¿Por qué no se observa hoy ninguna región de antimateria? Podría ser debido a un proceso de difusión y homogeneización que habría tenido lugar poco después de la congelación. (Realmente, parece comprobado que hubo homogeneización si atendemos a la composición del Universo en cuanto a los elementos producidos en la nucleosíntesis primordial y en la relación de los números de protones y fotones en todos los lugares).



### 6.3 Procesos de difusión y homogeneización

La difusión pudo irse produciendo al mismo tiempo que continuaría la producción de pares y aniquilación, después de concluida la *PF*. La difusión habría originado la tendencia a que en todas las regiones fuese  $z_R \approx \bar{z}_R$ , pero no se habría llegado, evidentemente, a la homogeneización perfecta en que fuese exactamente  $z_R = \bar{z}_R$  en todas las regiones. En regiones donde resultara  $z_R > \bar{z}_R$ , se obtendría mayor densidad (posibles semillas de cúmulos de galaxias), y donde resultara  $z_R < \bar{z}_R$  habría menor densidad.

## 7. El final de la producción de pares y aniquilación

Después de la homogeneización (no perfecta, conviene recordar), habría continuado la producción de pares y aniquilación. Puesto que el resultado de la *PF* habría sido  $Z_R > 0$ , quedarían más partículas que antipartículas. Al ir disminuyendo la temperatura, la producción de pares disminuiría hasta finalmente cesar, continuando los procesos de aniquilación hasta quedar eliminadas todas las antipartículas en todas las regiones del Universo. Es la situación actual.

Hoy se observan en el Universo unos datos experimentales que parecen coincidir con lo que aquí estamos sugiriendo. Parece observarse que los números totales de partículas y de antipartículas son del siguiente orden:

$$M \approx 10^{77} \quad A \approx 0 \quad Z = M \approx 10^{77} \quad (23)$$

Se admite hoy que existen del orden de  $10^{77}$  protones (y otros tantos electrones, y se puede suponer un número similar de neutrinos). Los fotones están en mucho mayor número, que parece ser del orden de  $10^{86}$ . La relación del número de fotones al de protones ( $Z_R$ ) en el Universo actual se considera del orden de  $10^9$ ; pondremos pues:

$$\frac{n^\circ \text{ de fotones}}{Z_R} \approx \frac{10^{86}}{10^{77}} = 10^9 \quad (24)$$

Resaltemos la posible coincidencia de estos valores con lo que aquí sugerimos, realizando la siguiente hipótesis: que la mayoría de los fotones existentes en la actualidad proceden de la aniquilación de partículas y antipartículas que tuvo lugar después de la *PF*. Esto equivale a decir que el número de fotones actuales es del mismo orden que el número total de partículas,  $N = M + A$ , existentes al final de la *PF* (ya que el valor de  $Z_R = M - A$  sería de un orden muy inferior ( $Z_R \approx 10^{77}$ ;  $N \approx 10^{86}$ )).

Por tanto, con estos supuestos, sería muy aproximadamente:

$$\text{número de fotones} \approx N \approx 10^{86} \quad (25)$$

con lo que, de la (24) se deduce que:

$$\frac{N}{Z_R} \approx 10^9 \quad (26)$$

que coincide con lo que habíamos supuesto anteriormente (20). Supondríamos, así, que el resultado  $Z_R$  correspondería al citado punto  $R$  de la gráfica.

## 8. ¿Fueron posibles otros resultados?

Hemos descrito lo que suponemos ocurrido hasta alcanzarse la situación real que vemos hoy en el Universo. Pero la  $PF$  podía haber dado otro resultado, si la “congelación” se hubiese producido para otro valor de  $Z_R$ . Si hubiese resultado  $Z_R < 0$ , hoy viviríamos en un Universo de antimateria. Supongamos por un momento que el resultado hubiese sido el mismo que el actual en valor absoluto, pero con signo negativo. Nuestro mundo sería de antimateria, que tendría las mismas propiedades que el actual y no notaríamos nada extraño. Incluso la palabra “antimateria” tendría el sentido contrario; a la antimateria la llamaríamos “materia”, y a la materia, “antimateria”.

Si hubiera ocurrido la congelación para  $M = A$ ,  $Z_R = 0$ , exactamente, en ese caso, al final, todas las partículas de materia se habrían aniquilado al unirse con sus respectivas antipartículas, y no existiría hoy ni una sola partícula en el Universo.

Como hemos indicado, nuestra sugerencia es que habría ocurrido un proceso aleatorio en el que todo resultado habría sido posible.

Es sugestivo considerar que parece como si el Universo hubiese apostado en un juego de azar, en el que sólo se permitiese una única e irrepetible jugada, que tuvo lugar en el instante de la “congelación”. ¿Jugó Dios a los dados? preguntaría Einstein. Responderíamos: Pudo jugar, pero conocería el resultado de antemano. Y el resultado de aquella única y decisiva jugada determinó la cantidad total de materia de que iba a disponer el Universo para todo su complejísima evolución. Ya no habría segunda oportunidad.

## 9. La evolución del Universo hasta la actualidad

Ocurrió luego lo que está generalmente admitido: con el progresivo enfriamiento, se realizó la unión de quarks de tres en tres formando bariones, después la nucleosíntesis primordial, la configuración de las galaxias, la formación de estrellas (en las que, por fusión, se llega hasta el hierro y, en estrellas masivas, se producen procesos de contracción explosiva que dan lugar a la síntesis de todos los núcleos pesados de la tabla periódica por bombardeo neutrónico). Además, en los lugares donde la temperatura es suficientemente baja se forman primero átomos, después moléculas, y, en algún lugar privilegiado, la vida y su asombrosa evolución, llegando así al mundo que conocemos, con su enorme y admirable complejidad.

## 10. Conclusión final

En resumen, la nueva explicación que, con todas las reservas, sugerimos en este trabajo, se basa en la supuesta existencia de un proceso por el que, a muy alta temperatura, sean posibles las mutuas transformaciones entre materia y antimateria. Este proceso habría originado una *fluctuación primordial PF*, que se habría interrumpido al descender la temperatura por debajo de una determinada *temperatura crítica de cambio de fase  $T_f$* , en cuyo instante habría ocurrido una “congelación”, quedando fijada definitivamente hasta el día de hoy la diferencia entre las cantidades de materia y antimateria que quedaron en el Universo. El resultado que conocemos fue un “pequeño” exceso de materia sobre la antimateria. Después todas las antipartículas serían aniquiladas al interaccionar con sus correspondientes partículas, quedando un resto de partículas que son las que forman el Universo actual.

Esta explicación presenta la ventaja de no requerir diferencia alguna entre las propiedades de la materia y la antimateria, y respeta además las leyes conocidas de la Física. Deja abierto el camino a la Física teórica y a la Física experimental para la investigación de los posibles modelos de cadenas de reacciones por las que se puedan producir las transformaciones entre materia y antimateria, en ambos sentidos.

Con la lógica humildad de quien es consciente de que es mucho más lo que ignoramos que lo que conocemos de la Naturaleza, hay que reconocer que la explicación que aquí se sugiere es una simple idea imaginativa que puede o no corresponder a la realidad de lo ocurrido en el Universo.

Nota.- Este trabajo ha sido extractado de la conferencia que el mismo autor pronunció el 29 de abril de 2009 en la Universidad Politécnica de Madrid dentro del XIII Ciclo de “Humanidades, Ingeniería y Arquitectura”, publicada en el libro que contiene las conferencias del curso 2008-2009 <sup>(15)</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

- (<sup>1</sup>) F. J. Ynduráin. *Electrones, neutrinos y quarks*. Ed. Crítica (2001).
- (<sup>2</sup>) A. D. Sakharov. *Pisma ZH.Eksp. Teor. Fiz.* 5, 32 (1967) y *JETP Lett.* 5, 24 (1967).
- (<sup>3</sup>) J. H. Christenson et al. *Phys. Rev. Lett.* 13,138 (1964).
- (<sup>4</sup>) N. Cabbibo. *Phys. Rev. Lett.* 10, 531 (1963)
- (<sup>5</sup>) M. Kobayashi, T. Maskawa. *Prog. Th. Phys.* 49, 652 (1973).
- (<sup>6</sup>) M. B. Gavela et al. *Standard Model CP-violation and baryon asymmetry. Mod. Phys. Lett. A*, Vol 9, 9, 795 (1994).
- (<sup>7</sup>) G. 't Hooft. *Phys. Rev. Lett.* 37, 49, 652 (1976).
- (<sup>8</sup>) N. S. Manton. *Phys. Rev.* D28, 2019 (1983)
- (<sup>9</sup>) B. Aubert et al. BaBar Collaboration *Phys.Rev.Lett.* 86, 2515 (2001).
- (<sup>10</sup>) H. Georgi, S. Glashow. *Phys. Rev. Lett.* 32, 438 (1974).
- (<sup>11</sup>) J. A. Gonzalo, J. L. Sánchez Gómez, M. A. Alario. *Cosmología Astrofísica*. Ed. Alianza (1995).
- (<sup>12</sup>) Y. Nambu. *Physica D* 15, 273 (1985).
- (<sup>13</sup>) Y. Nambu. *J. Stat. Phys.* 115,7 (2004).
- (<sup>14</sup>) CDF Collaboration. G. Gomez-Ceballos et al.. *Phys. Rev. Lett.* 97, 062003 (2006)
- (<sup>15</sup>) Univ. Politéc. Madrid. *Humanidades, Ingeniería y Arquitectura*. XIII, 245 (2010).